การปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสงด้วยกระบวนการไมโครเวฟ

IMPROVEMENT OF PHOTOCATALYST BY MICROWAVE METHOD

สิทธินันท์ ท่อแก้ว ภรณี ศรีรมรื่น และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทคัดย่อ

เวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ด้วยเทคนิค ปัจจัยที่ศึกษา คือ ผลของอุณหภูมิการเผาสารตั้งต้น ชนิดตัวทำละลาย เวลาในการสังเคราะห์ งไมโครเวฟ และอัตราส่วนของ TiO_2 ต่อ KOH จากการทดลองพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการ ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ คือ สารตั้งต้น TiO_2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส TiO_2 ต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 โดยโมล ในเอทานอล ที่กำลังไฟ 360 วัตต์ เป็นเวลา 120 นาที ริยาการย่อยสลายสีเมทีลีนบลูเท่ากับ 0.5136 ต่อนาที ภายใต้การฉายแสงแบลคไลต์ 120 มเข้มข้นสีเมทีลีนบลู 30 พีพีเอ็ม

TiO_2/ ไมโครเวฟ / สีเมทีลีนบลู / การย่อยปฏิกิริยาด้วยแสง

ABSTRACT

objective of this research was to improve efficiency of TiO_2 by microwave technique. The alcined temperature of starting material, type of solvent, synthesis time, power of and the ratio of TiO_2 to KOH were studied. The experiment results show that the suitable or synthesis TiO_2 by microwave technique were calcined starting material at 500 °C, 1:1 KOH ratio by mol in ethanol at 360 W microwave power and 120 minute. Reaction rate methylene blue degradation was 0.5136 min^{-1} under blacklight irradiation for 120 min at ıethylene blue concentration.

TiO_2 / microwave / methylene blue dye / Photodecomposition

1. บทนำ

ปัจจุบันก
นับว่าเป็นปัญหาอ
บำบัดและใช้สภา
คลื่นอุลตร้าโซนิค
การย่อยด้วยการ
จำเป็นต้องมีแสงที่
TiO_2 CdS ZnO
พลังงานแถบช่องว่
TiO_2 ชนิดนี้มีราค
สังเคราะห์ TiO_2 ส
[1-4] ซึ่งกระบวนก
และความดันสูง ใน
ดังนั้นงาน
กระบวนการย่อยด้
ละลาย เวลาในการ
สลายสีเมทีลีนบูล

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

TiO_2-P25 ใ
ประเทศเกาหลี เอท
J.T. Baker Solusorb
ประเทศญี่ปุ่น สีเมที
ไซด์ (NaOH) บริษัท
Darmstadt ประเทศเ

2.2 ผลการเผาสารตั้ง

ชั่ง TiO_2 จำน
ตัวอย่างหลังเผาไปวิเ

1. บทนำ

ปัจจุบันการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเคมี การเกษตร และชุมชน นับว่าเป็นปัญหาอย่างมาก เนื่องมาจากความคงทนขององค์ประกอบอะโรมาติก จึงเป็นการยากต่อการบำบัดและใช้สภาวะที่รุนแรง ตัวอย่างเทคนิคที่นิยมใช้ในการกำจัดสารพิษ คือ การเร่งปฏิกิริยาเคมีด้วยคลื่นอุลตร้าโซนิค การย่อยที่สภาวะที่จุดวิกฤต การออกซิเดชันด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีและการใช้แสง การย่อยด้วยการใช้ตัวเร่งแบบใช้แสง เป็นต้น วิธีการย่อยการย่อยด้วยการใช้ตัวเร่งแบบใช้แสง จำเป็นต้องมีแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม สารกึ่งตัวนำ และออกซิเจน สารกึ่งตัวนำที่นิยมใช้ได้แก่ TiO_2 CdS ZnO เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TiO_2-P25 เป็นสารที่ให้สมบัติการย่อยที่ดี เนื่องจากมีค่าพลังงานแถบช่องว่างต่ำ นอกจากนี้ยังมีความเสถียร ไม่เป็นอันตรายเมื่อหลุดไปสู่สิ่งแวดล้อม **[1-2]** แต่ TiO_2 ชนิดนี้มีราคาแพง อนุภาคมีขนาดเล็กมาก ทำให้ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการสังเคราะห์ TiO_2 สามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการโซลเจล **[1-2]** กระบวนการไฮโดรเทอมอล **[1-4]** ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ให้ TiO_2 ที่ดี แต่ต้องใช้สภาวะในการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิและความดันสูง ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาสั้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงปรับปรุง TiO_2 ที่มีขายตามท้องตลาดด้วยเทคนิคไมโครเวฟ สำหรับใช้ในกระบวนการย่อยด้วยการใช้ตัวเร่งแบบใช้แสง TiO_2-P25 โดยศึกษาผลการเผาสารตั้งต้น ชนิดตัวทำละลาย เวลาในการสังเคราะห์ กำลังไฟของไมโครเวฟ และอัตราส่วนของ TiO_2 ต่อ KOH ต่อการย่อยสลายสีเมทิลีนบูล

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

TiO_2-P25 บริษัท deguasa ประเทศเยอรมันTiO_2 COTIOX KA-300 บริษัท Cosmochemical ประเทศเกาหลี เอทานอล (C_2H_5OH) บริษัท แอลกอฮอล์ไทย ประเทศไทย เมทานอล (CH_3OH) บริษัท J.T. Baker Solusorb ประเทศสหรัฐอเมริกาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) บริษัท NIPPON SODA ประเทศญี่ปุ่น สีเมทีลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3SCI$) บริษัท Riedel-de Haën ประเทศเยอรมันนี โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Mearsk ประเทศเยอรมันนี กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) บริษัท Merck KGaA รุ่น 65271 Darmstadt ประเทศเยอรมันนี

2.2 ผลการเผาสารตั้งต้น

ชั่ง TiO_2 จำนวน 20 กรัม เผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 ถึง 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างหลังเผาไปวิเคราะห์ด้วย SEM และ XRD

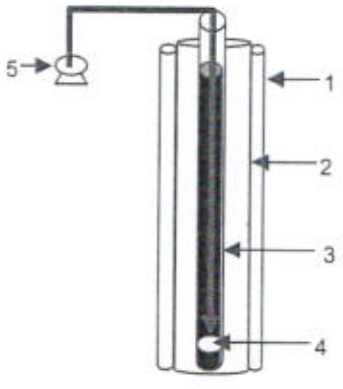
รับปรุง TiO_2 ด้วยกระบวนการไมโครเวฟ

นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆมาทำการสังเคราะห์โดยชั่ง TiO_2 10 กรัม ใส่ลงใน ย 2.08 โมลต่อลิตร ของ KOH ปริมาณ 60 มิลลิลิตร เป็นอัตราส่วน TiO_2 ต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 360 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปล้าง ัลฟิวริกและน้ำกลั่น จนมีค่าพีเอชเป็นกลาง นำเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกน้ำออก นำสารตัวอย่าง บที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยน้ำออก นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วย EM และ XRD ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนเวลาที่ในการสังเคราะห์ ให้ความร้อนเป็น 60 90 นาที เปลี่ยนกำลังไฟเป็น 90 180 และ 900 วัตต์ เปลี่ยนอัตราส่วน TiO_2 ต่อ KOH ตัวทำละลาย รทดลองคือ น้ำ เมทานอล และเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

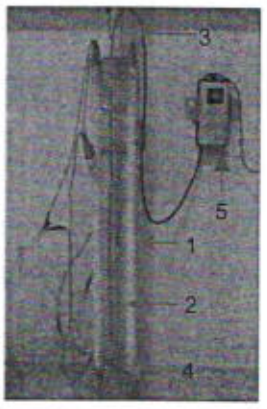
จสอบการย่อยสี

ารย่อยสลายสีเมทีลีนบลูใช้ชุดทดสอบการย่อยตามรูปที่ 1 ชุดทดสอบการย่อยประกอบด้วย วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร วางในท่ออะคิลิกขนาดเส้นผ่าน 7.4 เซนติเมตร ที่มีหลอดไฟแบคไลซ์ 18 วัตต์ จำนวน 2 หลอด วางไว้ด้านข้าง หลอดแก้ว ละลายได้ 450 มิลลิลิตร และพ่นอากาศด้วยอัตราเร็ว 19 มิลลิลิตรต่อวินาที

ารทดสอบการย่อยสลายของสีเมทีลีนบลูทำได้โดยเตรียมสารละลายสีเมทีลีนบลูที่ความ มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1000 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้สารละลายด้วย 0.1 โมลาร์ NaOH หรือ ร์ H_2SO_4 เก็บสารละลายตัวอย่างเริ่มต้น เพื่อวัดความเข้มข้นเริ่มต้น เติมตัวเร่งปฏิกิริยา พ่น แวลา 60 นาที เก็บตัวอย่างสารละลาย เปิดหลอดไฟเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างสารละลาย าที กรองสารละลายตัวอย่างด้วยเยื่อแผ่นที่มีขนาดรูพรุน 0.2 ไมโครเมตร นำสารละลายส่วนใสไป มสีของสารละลายเมทีลีนบลู โดยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร



(ก)



(ข)

และชุดการย่อยสลายสี (ข) ในการย่อยสลายสีเมทีลีนบลูที่สร้างขึ้น เมื่อ 1;หลอดไฟฟ้า ก 3; หลอดแก้ว 4;หัวพ่นออกซิเจน 5;ปั๊ม

2.5 การวิเคราะ

การวิเค

เครื่องกระเจิงรั

กล้องจุลทรรศน์

เพื่อวิเคราะห์หา

3. ผลการทดลอ

3.1 ผลของอุณห

ในรูปที่

2 พบว่า TiO_2 ก่

เซลเซียส โครงส

ไทเทเนียมไดอ

ประมาณ 200-30

ของอนุภาคไม่มี

Intensity

1

รูปที่ 2 พีค XRD ข

เมื่อ ● คือ

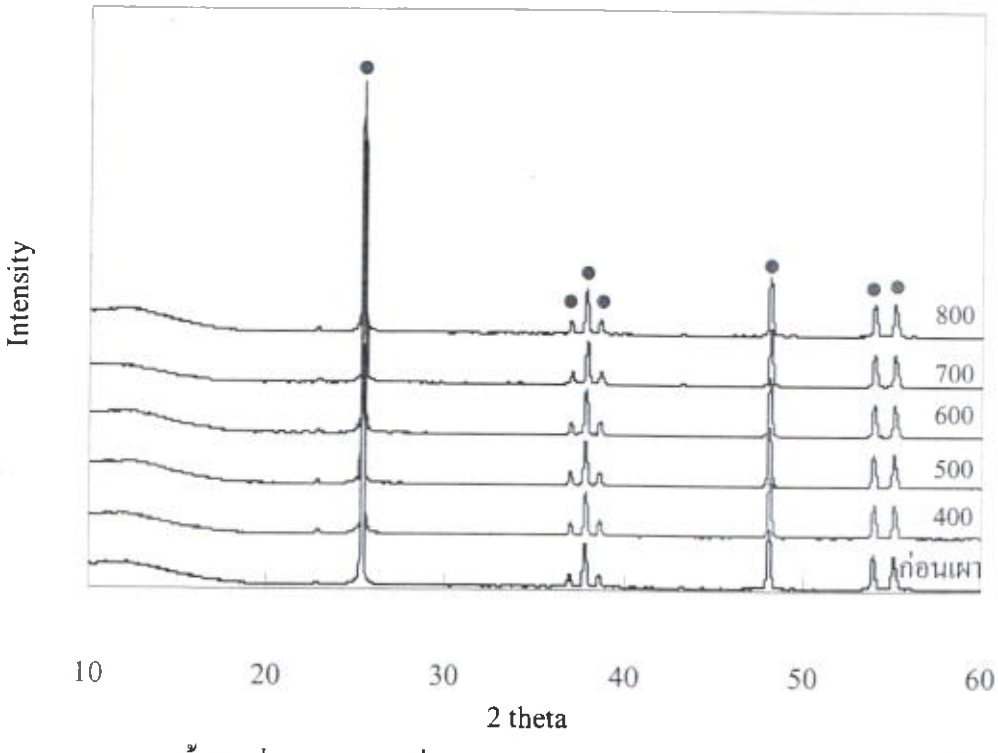
2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์ XRD โดยการบดสารตัวอย่างจนละเอียด อัดใส่ในช่องตัวอย่าง วิเคราะห์เฟสด้วยเครื่องกระเจิงรังสีเอ็กซ์ รุ่น Brooker D8 (XRD) โดยวัดตั้งแต่ 5 ถึง 60 องศา (2θ) การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 6301F (SEM) ใช้กำลังขยาย 10000 และ 35000 เท่า เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะและรูปร่างของอนุภาค

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของอุณหภูมิการเผาต่อโครงสร้างผลึก TiO_2

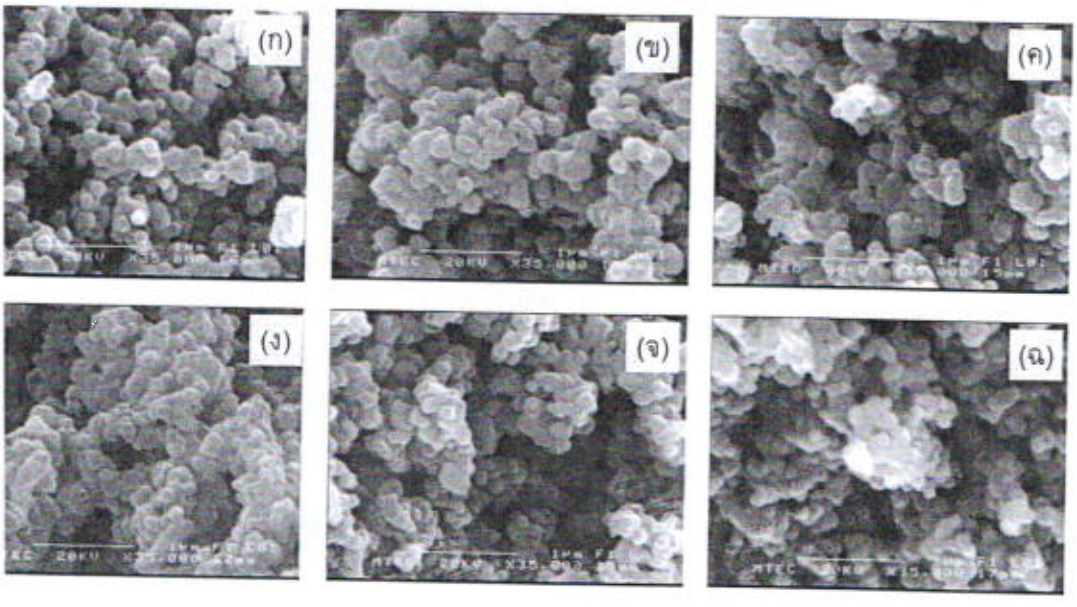
ในรูปที่ 2 แสดงพีค XRD ของสารตัวอย่าง เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากรูปที่ 2 พบว่า TiO_2 ก่อนเผาประกอบด้วยเฟสอนาเทสอย่างเดียว และเมื่อนำ TiO_2 ไปเผาที่ 400 ถึง 800 องศาเซลเซียส โครงสร้างของผลึกตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง รูปที่ 3 แสดงลักษณะพื้นที่ผิวอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภมิ 400-800 องศาเซลเซียส ซึ่งอนุภาคก่อนเผามีขนาดประมาณ 200-300 นาโนเมตร (รูป 3 ก) เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 – 800องศาเซลเซียส พบว่าขนาดของอนุภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังคงมีขนาดใกล้เคียงกับอนุภาคก่อนเผา



รูปที่ 2 พีค XRD ของสารตั้งต้นที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อ ● คือ เฟสอนาเทส

องค่า pH ต่อการย่อยสลายสี

นรูปที่ 4 แสดงผลของค่าพีเอชต่อการย่อนสลายสีเมทิลีนบูล เมื่อเติมและไม่เติม TiO_2 ที่ความ 0 พีพีเอ็ม และความเข้มข้นของสีเริ่มต้น 30 พีพีเอ็ม จากรูปที่ 4 พบว่า ในกรณีที่ไม่มีการเติม ามเข้มข้นของสีเมทีลีนบลูมีค่าลดลง เมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงวให้เห็นว่า สีเมทิ มารถย่อยสลายเอง เมื่อมีการฉายแสงและออกซิเจน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเติม TiO_2 ต่อ ลายสีเมทิลีนบูลพบว่า ความเข้มข้นของสีเมทิลีนบูลมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสีเมทิลีนบูลได้ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อค่าพีเอชของ ยมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการลดลงของความเข้มข้นสีเมทิลีนบูลมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีที่เติมและ O_2 จากข้อมูลในรูปที่ 4 เมื่อนำไปหาค่าคงที่ปฏิกิริยาของการย่อยสลายสีเมทิลีนบูลมีค่าเท่ากับ

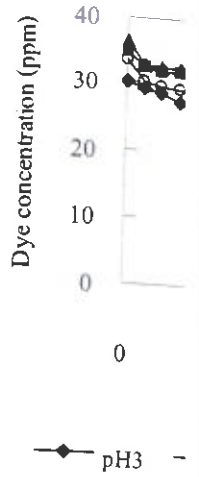


ครงสร้างจุลภาพของสารตั้งต้น เมื่อ (ก) ก่อนเผา (ข) หลังเผา 400 (ค) 500 (ง) 600 (จ) 700 ละ (ฉ) องศาเซลเซียส

: 0.2076 ต่อนาที เมื่อไม่เติมและเติม TiO_2 ตามลำดับ ในกรณีที่มีการเติม TiO_2 ที่พีเอชต่ำกว่า oint of zero charge) ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้ประจุที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ า ซึ่งกทำให้เกิดการดูดซับโปรตอน (H^+) ไว้ที่ผิวหน้าอนุภาค ดังสมการที่ (1) ในขณะที่สีเม จุเป็นบวก จึงทำให้เกิดการดูดซับได้ไม่ดี ในขณะที่เมื่อค่าพีเอชของสารละลายมีค่ามากว่าจุด ที่ผิวอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าเป็นลบดังสมการที่ (2) ทำให้ความสามารถในการดูด เนื่องจากสีเมทิลีนบูลมีค่าประจุเป็นศูนย์ โดยทั่วไป ค่า PZC ของTiO_2-P25 มีค่าเท่ากับ 6 [5]

$$OH + H^+ \longleftrightarrow TiOH^+ \quad pH < PZC \qquad (1)$$

$$OH + OH^- \longleftrightarrow TiO^- + H_2O \quad pH > PZC \qquad (2)$$

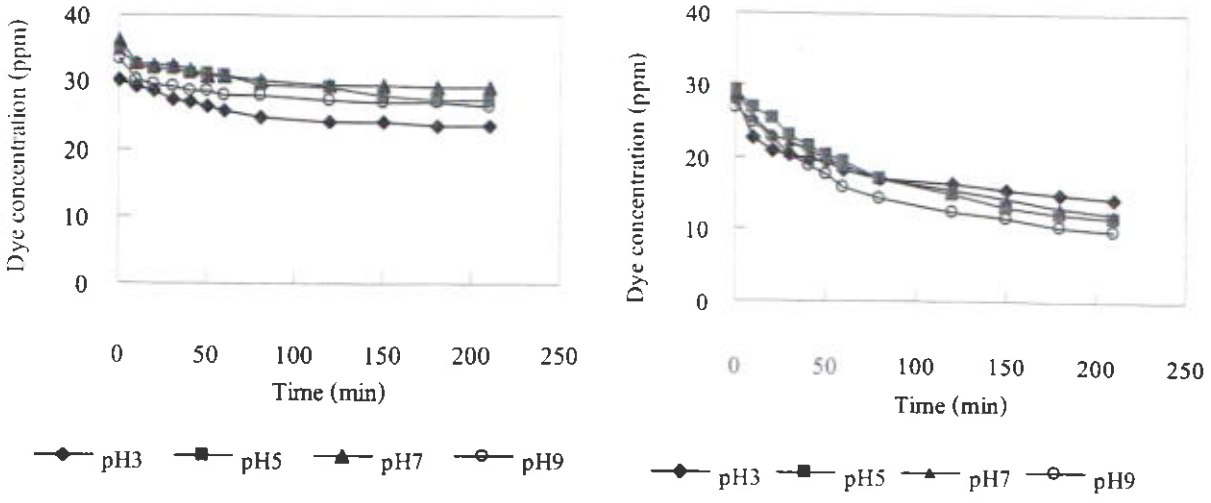


รูปที่ 4 ผลขอ
สีเมทิล

3.3 ผลของอุณห

ในรูปที่
กรัมต่อลิตร ควา
เผาเป็น 500 องเ
ต่อไปอีก จะพบว่
ให้เกิดการหลอม
ย่อยสลายสีเมทิ
อุณหภูมิ 500 องศ

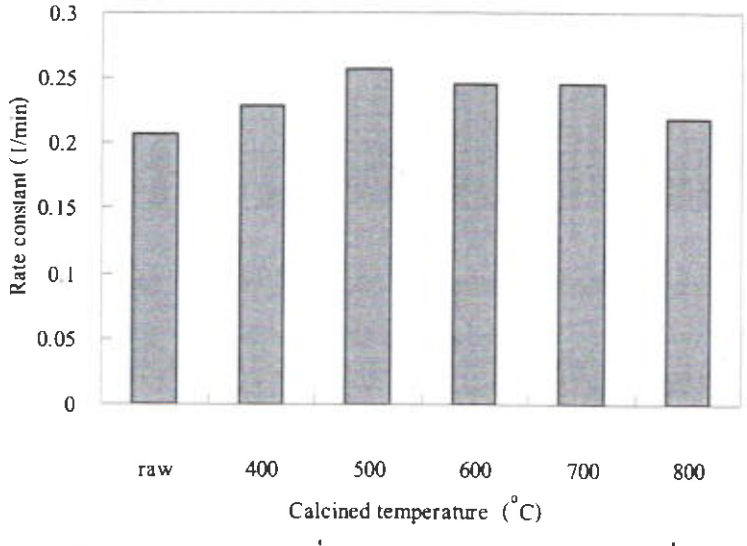
รูปที่ 5 ผลของอุ
ความเข้ม



รูปที่ 4 ผลของพีเอชต่อการย่อยสลายสีเมทีลีนบลู เมื่อเติม(ก) และไม่เติม TiO_2 (ข) ที่ความเข้มข้นสีเมทิลีนบูลเริ่มต้น 30 พีพีเอ็ม

3.3 ผลของอุณหภูมิการเผาสารตั้งต้นต่อการย่อยสลายสีเมทีลีนบลู

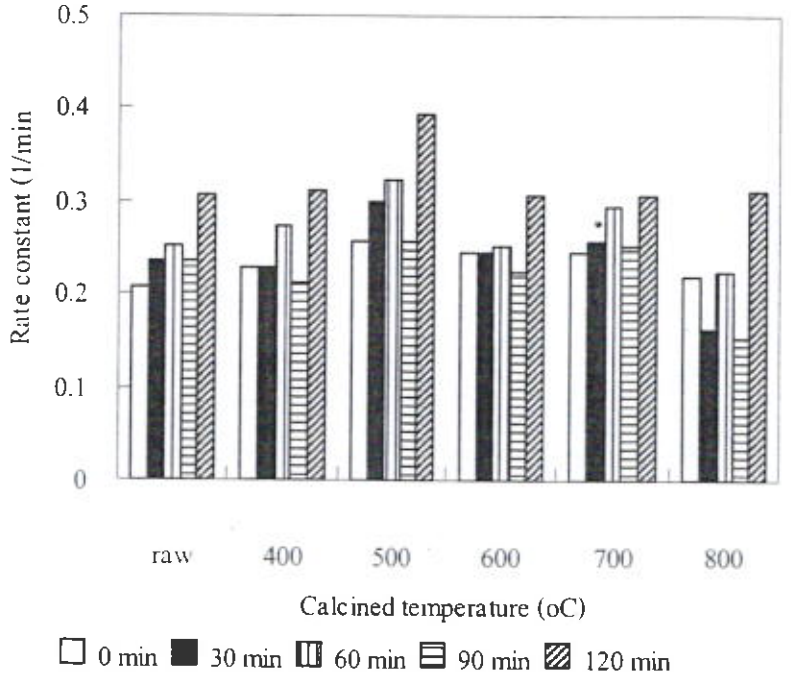
ในรูปที่ 5 แสดงผลของอุณหภูมิในการเผาต่อค่าคงที่การย่อยสลายสีเมทีลีนบลู เมื่อใช้ TiO_2 ที่ 1 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสีเมทิลีนบูลเริ่มต้น30 พีพีเอ็ม พีเอช 9 จากรูปที่ 5 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 500 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีก จะพบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเผาที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการหลอมรวมตัวกันของอนุภาค ทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าลดลง ค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสสลายสีเมทิลีนบูลเท่ากับ 0.2568 ต่อนาที ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ได้จากสารตั้นต้นที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิในการเผาต่อค่าคงที่การย่อยสลายสีเมทีลีนบลู เมื่อใช้ TiO_2 ที่ 1 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นสีเมทิลีนบูลเริ่มต้น30 พีพีเอ็ม พีเอช 9

ารปรับปรุงด้วยกระบวนการไมโครเวฟ

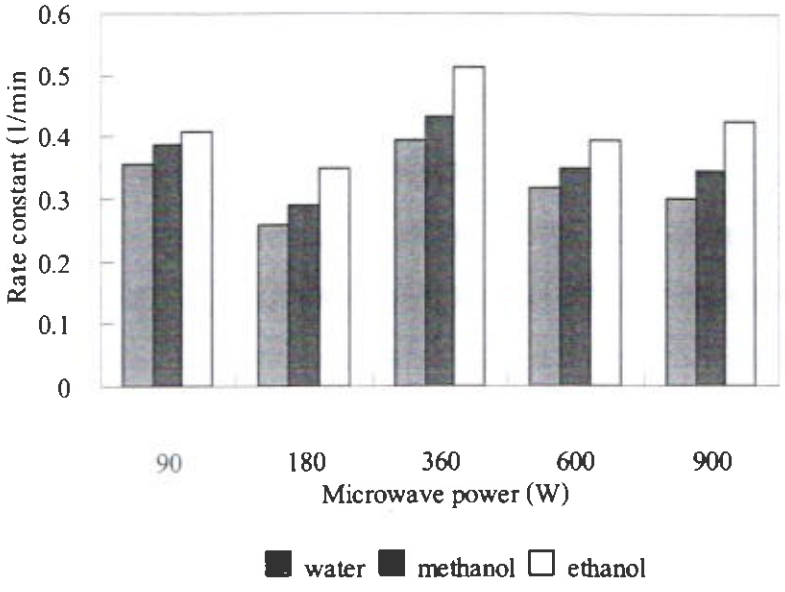
ในรูปที่ 6 แสดงผลของเวลาในการปรับปรุงด้วยเทคนิคไมโครเวฟต่อค่าคงที่การย่อยสลายสีเม
โดยใช้สารตั้งต้นเป็น TiO_2 ผ่านการเผาที่อุณหภูมิการเผาต่างๆ เมื่ออัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ
น 1 ต่อ 1 โดยโมล กำลังไฟของคลื่นไมโครเวฟ 360 วัตต์ โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จากรูปที่
ค่าคงที่การย่อยสลายสีเมทิลีนบูลให้ค่าสูงสุดเมื่อใช้เวลาในการปรับปรุงเป็น 120 นาที ใน
ที่ใช้สารตั้งต้นที่ผ่านการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้เวลาในการ
เพิ่มขึ้น ค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีเมทิลียบูลมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มเวลาทำให้
ะลายของ TiO_2 ได้มากขึ้น และเมื่อนำไปวิเคราะห์ดูลักษณะโครงสร้างผลึก พบว่า ไม่มีความ
กันของพีคตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงที่เวลาต่างๆ ในรูปที่ 7 แสดงผลของกำลังไฟในการ
ต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีเมทีลีนบลู จากรูปที่ 7 พบว่า การปรับปรุงที่กำลังไฟ 360
าคงที่ปฏิกิริยาสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการการใช้ตัวทำละลายมีผลต่อการปรับปรุงตัวเร่ง
นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ KOH เป็นเพิ่มจาก 1 ต่อ 0.1 เป็น 1 ต่อ 1
ฏิกิริยาการย่อยสลายมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วน TiO_2 ต่อ KOH มากกว่านี้ พบว่า ค่าคงที่
ารย่อยสลายมีค่าลดลง



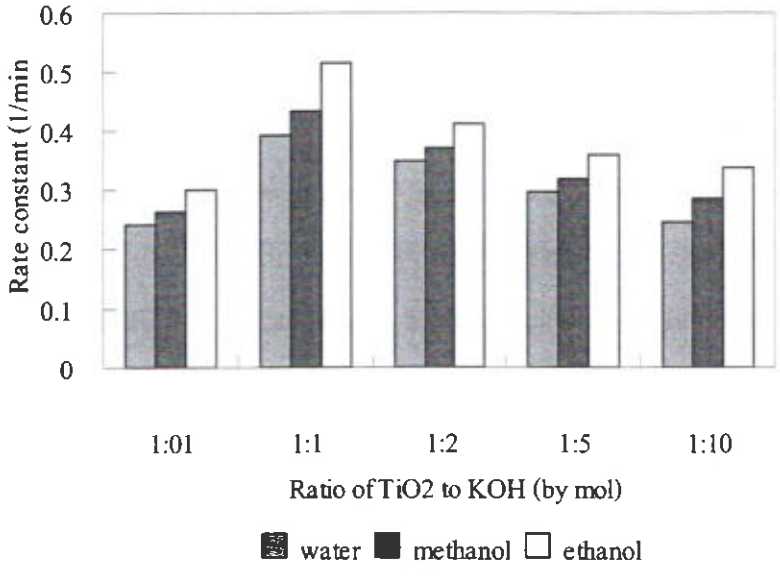
ผลของเวลาในการปรับปรุงด้วยเทคนิคไมโครเวฟต่อค่าคงที่การย่อยสลายสีเมทีลีนบลูโดยใช้
สารตั้งต้นเป็น TiO_2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิการเผาต่างๆ เมื่ออัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ
KOH เป็น 1 ต่อ 1 โดยโมล กำลังไฟของคลื่นไมโครเวฟ 360 วัตต์ โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

รูปที่ 7 ผลของ
เป็น Ti
โดยโม

รูปที่ 8 ผลของ
เมทิลีนบ
เวลาในก



รูปที่ 7 ผลของกำลังไฟในการปรับปรุงต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีเมทีลีนบลู โดยใช้สารตั้งต้นเป็น TiO_2 ที่ผ่านการเผา 500 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 โดยโมลและเวลาในการปล่อยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 120 นาที



รูปที่ 8 ผลของอัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ KOH ในการปรับปรุงต่อค่าคงที่ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีเมทิลีนบลู โดยใช้สารตั้งต้นเป็น TiO_2 ที่ผ่านการเผา 500 องศาเซลเซียส เมื่อใช้กำลังไฟและเวลาในการปล่อยคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 360 วัตต์ และ 120 นาที ตามลำดับ

ฉการทดลอง

ากการทดลองพบว่า สภาวะในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยามีค่า
ว สารตั้งต้นเป็น TiO_2 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ
ะการปรับปรุงด้วยเทคนิคไมโครเวฟ คือ อัตราส่วนระหว่าง TiO_2 ต่อ KOH เป็น 1 ต่อ 1 ตัวทำ
เอทานอล กำลังไฟของไมโครเวฟเท่ากับ 360 วัตต์ เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งให้ค่าคงที่ปฏิกิริยา
ลายสีเมทีลีนบลูเท่ากับ 0.5136 ต่อนาที ซึ่งให้ค่าสูงกว่าสารตั้งต้นเท่ากับ 147.39 เปอร์เซ็นต์

รมประกาศ

เณะผู้วิจัยของขอบคุณ นางสาวกนกวรรณ กฤตโยภาส นางสาวกุลธิดา สุขสมสถาน และนาย
สว่างใจ ซึ่งเป็นนิสิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี ชั้นปีที่ 4 ที่ได้ช่วยในการทำวิจัย นอกจากนี้
ม ผศ. บัญชา ศิลป์สกุลสุข คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์โครงสร้าง
ั้งนี้เป็นอย่างดี

งอิง

า'ko, Y.V., Churagulov, B.R., Kunst, M., Mazerolles, L. and Justin C. C., "Photocatalytic
rties of titania powders prepared by hydrothermal method," *Applied Catalysis B: onmental.* Vol. 54:51–58, 2004.

ar, K., Rajhaa Rama K. And Katsukib Hiroaki, "Microwave hydro-thermal processing of
ım dioxide," *Materials Chemistry and Physics.* Vol. 61:50-54, 1999.

ssari Sara, Komarneni Sridhar, Mariani Emilia and Villa Carla., "Microwave-hydrothermal
ss for the synthesis of rutile," *Materials Research Bulletin*, 2005.

Ana M., Sakai Go, Cornet Albert, Shimanoe Kengo, Morante Joan Ramon and Yamazoe
u, "Microstructure control of thermally stable TiO_2 obtained by hydrothermal process for
nsors," *Sensors and Actuators*, Vol. B103 :312–317, 2004.

na Y. Oliva, Lucía B. Avalle, Osvaldo R. Cámara and Carlos P. De Pauli,
rption of human serum albumin (HSA) onto colloidal TiO_2 particles; Part I," *Journal of d and Interface Science*, Vol. 261: 299–311, 2003.

บทคัดย่อ

เซลล์เ
เคมีให้เป็นพลัง
เชื้อเพลิงที่ได้ร
สามารถผลิตไ
สิ่งแวดล้อมน้อ
ออกไซด์ เซลล์
คาไลน์ แบบกร
ออกไซด์ของแข็
คาร์บอเนตหลอม

Abstract

A fuel
energy directly t
include a higher
lower emissions
electrolytes i.e. a
Fuel Cell, a Molt
higher conversion

บทนำ

เซลล์เชื้อเ
(Electrochemical